

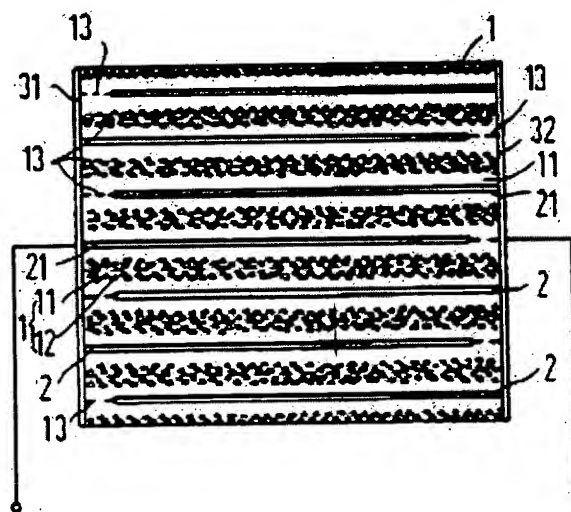
**Laminated ultrasonic transducer - with porous piezo-ceramic and electrodes, giving good electrical and acoustic match and high coupling factor**

**Patent number:** DE4029972  
**Publication date:** 1992-03-26  
**Inventor:** WERSING WOLFRAM DIPL PHYS (DE); MOHAUPT JUTTA (DE); LUBITZ KARL DIPL PHYS DR (DE)  
**Applicant:** SIEMENS AG (DE)  
**Classification:**  
- international: H01L41/22; H04R17/00  
- european: H01L41/083; H01L41/24  
**Application number:** DE19904029972 19900921  
**Priority number(s):** DE19904029972 19900921

Report a data error here

**Abstract of DE4029972**

Ultrasonic transducer has several layers (1) of porous piezo-ceramic (I), alternating with electrodes (II) (2). Alternate (II) are connected in turn to one of 2 terminals (31,32). Pref. each (I) layer has a porosity gradient, with min. porosity at the interface with the adjacent (II). (I) is based on Pb, Ti, Zr, Ni, Nb and O, whilst (II) contain Ag, Pd and/or Pt. **ADVANTAGE** - The transducer ensures a good electrical match in addn. to a good acoustic match and high coupling factor. Lamination reduces the electrical impedance at the same permittivity, e.g. by a factor of 16 with 4 layers. This more than counterbalances the redn. in permittivity with increasing porosity, allowing the thickness to be reduced to about a third the normal value, e.g. from ca. 3 mm to 1 mm for a  $\lambda/4$  transducer. (6pp Dwg.No.1/4)



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

**BEST AVAILABLE COPY**



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 40 29 972 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**H 04 R 17/00**  
H 01 L 41/22

⑳ Aktenzeichen: P 40 29 972.4  
㉑ Anmeldetag: 21. 9. 90  
㉒ Offenlegungstag: 26. 3. 92

DE 40 29 972 A 1

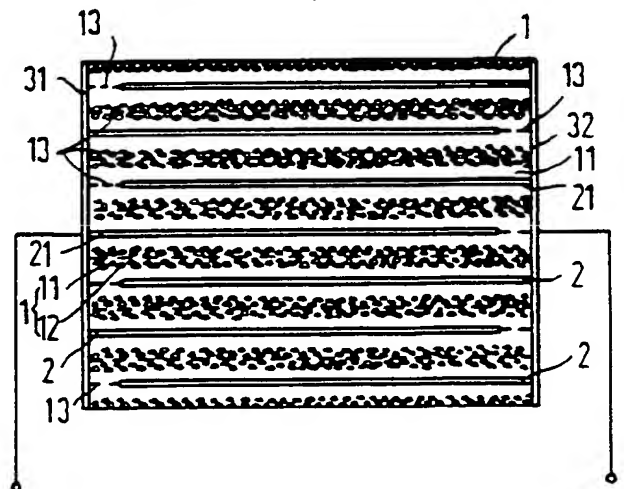
㉑ Anmelder:  
Siemens AG, 8000 München, DE

㉒ Erfinder:  
Wersing, Wolfram, Dipl.-Phys., 8048 Kirchheim, DE;  
Mohaupt, Jutta, 8000 München, DE; Lubitz, Karl,  
Dipl.-Phys. Dr., 8012 Ottobrunn, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 **Ultraschallwandler aus Piezokeramik**

⑤7 Der Ultraschallwandler enthält mehrere Schichten (1) einer porösen Piezokeramik, die jeweils alternierend mit Elektroden (2) übereinander angeordnet sind. Jede zweite nacheinander angeordnete Elektrode (2) ist mit einem ersten Anschluß (31), die dazwischen angeordneten Elektroden (2) sind mit einem zweiten Anschluß (32) verbunden. Die Schichten (1) poröser Piezokeramik werden insbesondere aus Rohfolien erzeugt, die durch Ziehen einer Kunststoffolie durch ein Vorratsgefäß, das einen mit einem Perlpolymerisat gemischten Keramikschlicker enthält, hergestellt werden.



DE 40 29 972 A 1

Die Erfindung betrifft einen Ultraschallwandler sowie ein Herstellungsverfahren für einen Ultraschallwandler.

Für Luft-Ultraschallwandler werden piezoelektrische Materialien mit einer möglichst geringen akustischen Impedanz benötigt, um die Fehlanpassung zur Luft abzumildern. Dies gilt im besonderen Maße für Luftultraschallwandler, wie sie für berührungslose Entfernungsmessung und für Robotersensoren eingesetzt werden. Um mit einfachen Sendeschaltungen, d. h. ohne Übertrager, und mit niedrigen Betriebsspannungen arbeiten zu können, wird an die verwendeten piezoelektrischen Materialien die Forderung gestellt, einen möglichst hohen Kopplungsfaktor und eine hohe Permittivität aufzuweisen.

Bisher lassen sich Ultraschallwandler mit Piezokeramiken nur realisieren, wenn aufwendige Verbundwandler, z. B. Saturnwandler, aus Keramik und Anpassungsmaterialien wie dem sog. "Scotchplay" oder Kunststoff hergestellt werden.

Eine andere Möglichkeit zur Herstellung von Ultraschallwandlern besteht in der Verwendung piezoelektrischer Kunststoffe (PVDF). Diese weisen zwar gegenüber den Piezokeramiken eine um den Faktor 10 niedrigere akustische Impedanz auf, aber auch einen sehr geringen Kopplungsfaktor  $K_t$  von etwa 0.12 und eine gegenüber der Piezokeramik extrem niedrige Permittivität.

Eine weitere Möglichkeit zur Realisierung von Ultraschallwandlern besteht in der Verwendung von porösen Piezokeramiken. Piezokeramiken mit einer Porosität von  $p = 0.6$  bis  $0.7$  erfüllen die Forderungen hinsichtlich akustischer Anpassung und hohem akustischem Kopplungsfaktor gut. Der Kopplungsfaktor  $K_t$  beträgt etwa 0.5. Bei einer Porosität zwischen 0.6 und 0.7 sinkt die relative Permittivität der Piezokeramik aber auf Werte  $\epsilon_r$  von ungefähr 100. Damit ist die elektrische Anpassung sehr ungünstig.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Ultraschallwandler aus einem piezoelektrischen Material anzugeben, das neben einer guten akustischen Anpassung und einem hohen Kopplungsfaktor auch eine gute elektrische Anpassung sicherstellt. Des weiteren ist Aufgabe der Erfindung, ein Herstellungsverfahren für einen solchen Ultraschallwandler anzugeben.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Ultraschallwandler mit folgenden Merkmalen:

- a) es sind mehrere Schichten einer porösen Piezokeramik jeweils alternierend mit Elektroden übereinander angeordnet,
- b) es sind zwei Anschlüsse vorgesehen, mit denen jeweils jede zweite nacheinander angeordnete Elektrode verbunden ist.

Durch die Realisierung des Ultraschallwandlers in einem Mehrschichtaufbau einer porösen Piezokeramik wird bei gleicher Permittivität der Piezokeramik eine Absenkung der elektrischen Impedanz erzielt. Bei Verwendung von z. B. vier Schichten sinkt die elektrische Impedanz um den Faktor 16. Das Absinken der Permittivität der Piezokeramik mit steigender Porosität wird daher durch die Vielschichtanordnung mehr als ausgeglichen. Bei einer Porosität von  $p = 0.6$  bis  $0.7$  beträgt die Frequenzkonstante der Keramik nur etwa ein Drittel des Wertes der nichtporösen Keramik. Daher reduziert sich auch die Dicke der Wandler etwa auf ein Drit-

tel. Für einen Lambda/Viertel-Wandler mit hartem Baking reduziert sich die Dicke etwa von 3 mm auf 1 mm. Bei einer Dicke von etwa 0.2 bis 0.4 mm je Schicht der porösen Keramik, was technologisch gut herstellbar ist, werden bereits mit wenigen Schichten optimale Wandlerkeramiken erhalten.

Es liegt im Rahmen der Erfindung, daß jede Schicht bezüglich der Porosität einen Gradienten aufweist und daß an den Grenzflächen zu den benachbarten Elektroden die Porosität jeweils ein Minimum aufweist. Diese Ausführungsform hat den Vorteil eines zuverlässigeren Kontaktes zwischen der jeweiligen Elektrode und der Schicht poröser Keramik.

Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Herstellungsverfahren für einen Ultraschallwandler, das dadurch gekennzeichnet ist, daß mehrere Schichten einer porösen Piezokeramik jeweils alternierend mit Elektroden übereinander geschichtet werden und daß die Schichten poröser Keramik jeweils aus mindestens einer Rohfolie erzeugt werden, die durch Ziehen einer Kunststoffolie durch ein Vorratsgefäß, das einen mit einem Perlpolymerisat gemischten Keramikschlicker enthält, hergestellt wird. Um in der gebrannten Keramik eine Porosität von 0.6 bis 0.7 zu erzeugen, wird ein Perlpolymerisat mit einer zentralen Perlgröße von etwa 20 bis 30  $\mu\text{m}$  und einer möglichst schmalen Verteilung der Perlgröße verwendet. Die Rohfolien werden übereinander gestapelt, wobei ein Teil der Rohfolien mit einer Elektrodenpaste entsprechend einem der gewünschten Elektrodenform entsprechenden Muster bedruckt sind.

Es liegt im Rahmen der Erfindung, durch Einstellung der Viskosität des Keramikschlickers einen über den Querschnitt der Rohfolie veränderlichen Gehalt des Perlpolymerisats zu bewirken. In dem Vorratsgefäß findet nämlich eine gewisse, von der Viskosität des Schlickers abhängige Entmischung statt. Am Boden des Vorratsgefäßes ist der Anteil an Perlpolymerisat gering, im Bereich der Schlickeroberfläche groß. Daher bildet sich unmittelbar auf der Kunststoffolie eine dünne, nur Keramikpulver enthaltende Schicht und darüber eine Schicht mit zunehmendem Perlpolymerisatanteil.

Zur Erzeugung eines Ultraschallwandlers, bei dem innerhalb jeder Schicht die Porosität der Piezokeramik einen Gradienten aufweist, werden je zwei Rohfolien übereinander gelegt, daß an ihrer gemeinsamen Grenzfläche der Gehalt an Perlpolymerisat ein Maximum aufweist.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den übrigen Ansprüchen hervor.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Figuren und eines Ausführungsbeispiels erläutert.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Ultraschallwandler.

Fig. 2 bis Fig. 4 zeigen Rohfolienelemente, wie sie für die Herstellung eines erfindungsgemäßen Ultraschallwandlers benötigt werden.

Fig. 5 zeigt eine Siebdruck- bzw. Elektrodenfläche für eine viereckige Keramikrohfolie.

Fig. 6 zeigt eine Siebdruck- bzw. Elektrodenfläche für eine runde Keramikrohfolien.

Ein erfindungsgemäßer Ultraschallwandler enthält mehrere Schichten 1 einer porösen piezoelektrischen Keramik (s. Fig. 1). Die Schichten 1 sind alternierend mit Elektroden 2 angeordnet. Jede zweite der nacheinander angeordneten Elektroden 2 ist mit einem ersten Anschluß 31 elektrisch verbunden. Die dazwischenliegenden Elektroden 2 sind mit einem zweiten Anschluß 32 elektrisch verbunden. Die Piezokeramik besteht z. B.

aus dotiertem Bleizirkonattitanat.

Innerhalb der Schichten 1 weist die poröse piezoelektrische Keramik jeweils bezüglich der Porosität einen Gradienten auf, so daß in der Mitte zwischen den Elektroden 2 die Porosität ein Maximum erreicht, während sie an der Grenzfläche zu den benachbarten Elektroden 2 jeweils ein Minimum erreicht.

Zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Ultraschallwandlers werden Keramikrohfolien mit definierter Porosität erzeugt. Die Keramikrohfolien werden durch Folienziehen hergestellt. Dabei wird eine Kunststoffolie durch ein Vorratsgefäß, den sog. Ziehschuh, in dem ein Keramikschlicker enthalten ist, gezogen. Um in der gebrannten Keramik die gewünschte Porosität zu erzeugen, wird dem Keramikschlicker ein Perlpolymerisat mit einer zentralen Perlgröße von z. B. etwa 20 bis 30 µm und einer möglichst schmalen Verteilung der Perlgröße beigemischt. Es ist dabei darauf zu achten, daß sich das Perlpolymerisat nicht in dem Lösungsmittel, das zur Schlickerverdünnung verwendet wird, löst.

Die Kunststoffolie wird bei dem Ziehen durch den Ziehschuh mit Keramikschlicker benetzt. Beim Austritt aus dem Ziehschuh wird der Keramikschlicker an der Unterseite der beschichteten Folie abgestreift. Auf der Oberseite der Kunststoffolie entsteht die gewünschte Keramikrohfolie.

In dem Ziehschuh findet aufgrund der Viskosität des Keramikschlickers eine gewisse Entmischung des Perlpolymerisats von dem Keramikschlicker statt. Das führt dazu, daß am Boden des Ziehschuhs der Anteil an Perlpolymerisat gering, im Bereich der Keramikschlickeroberfläche jedoch groß ist. Durch Beeinflussung der Viskosität des Keramikschlickers ist der Grad dieser Entmischung einstellbar. Die Entmischung hat zur Folge, daß sich unmittelbar auf der Kunststoffolie eine dünne, nur Keramikpulver enthaltende Schicht und darüber eine Schicht mit zunehmendem Polymerisatanteil ausbildet. Eine solche erfindungsgemäße Keramikrohfolie ist in Fig. 2 dargestellt.

Die Keramikrohfolien werden in gewünschter Form ausgestanzt. übliche Formen sind z. B. quadratisch (s. Fig. 5) oder rund (s. Fig. 6). Ein Teil dieser Folien wird mit einer Elektrodenpaste aus z. B. Platin oder Ag Pd entsprechend einem Muster 4 für die Elektroden bedruckt (s. Fig. 3 und Fig. 4). Je nach dem, ob die Rohfolie später an den ersten Anschluß 31 oder den zweiten Anschluß 32 (s. Fig. 1) angeschlossen werden soll, reicht das Muster 4 für die Elektrode bis an den linken Rand (s. Fig. 3) bzw. an den rechten Rand (s. Fig. 4).

In Fig. 5 ist eine Rohfolie 51 dargestellt. Die Rohfolie 51 erhält durch Stanzen eine quadratische Form 52 mit zwei abgeschrägten Kanten. Die Rohfolie 51 wird mit einem Elektrodenmuster 54 bedruckt. Die Form des Elektrodenmusters 54 ist so gewählt, daß nach dem Sintern durch allseitiges Beschleifen ein schmaler freier Rand 53 (angedeutet durch eine gestrichelte Linie) entsteht, ohne daß dabei nennenswerte tote Zonen entstehen.

In Fig. 6 ist eine Rohfolie 61 dargestellt, die in eine runde, an zwei Seiten abgeflachte Form 62 gestanzt wurde. Durch Abdrehen wird eine freie Randzone 63 (angedeutet durch eine gestrichelte Linie) um ein rundes Elektrodenmuster 64 erzeugt.

Die ausgestanzten und bedruckten Keramikrohfolien werden so gestapelt, daß abwechselnd Bereiche mit hohem Perlpolymerisatgehalt und Bereiche ohne Perlpolymerisatgehalt aufeinanderliegen. Zwischen den Bereichen ohne Perlpolymerisat befinden sich die Elektroden

2 (s. Fig. 1). Die zwischen den Elektroden 2 angeordneten Schichten 1 werden aus zwei Rohfolien gebildet, wobei eine obere Rohfolie 11 mit einem Elektrodenmuster 21 auf der Seite mit geringem Perlpolymerisatgehalt bedruckt ist. Die obere Rohfolie 11 wird mit der Seite mit hohem Perlpolymerisatgehalt auf eine untere Rohfolie 12 gelegt, die unbedruckt ist und die mit ihrer Seite mit hohem Perlpolymerisatgehalt an die obere Rohfolie 11 anstößt. Die untere Rohfolie 12 liegt mit der Seite mit geringem Perlpolymerisatgehalt auf dem Elektrodenmuster 21 der darunterliegenden oberen Rohfolie 11. Die Trennlinien 13 deuten die Ausdehnung der Rohfolien vor dem Sintern an.

Der erfindungsgemäße Ultraschallwandler gemäß dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ist weder an der Deck- noch an der Bodenschicht mit Elektroden versehen. Dieses vereinfacht die Herstellung des Ultraschallwandlers wesentlich, da solche Deck- bzw. Bodenelektroden einen gesonderten Fertigungsschritt erfordern würden.

Der Folienstapel wird anschließend in bekannter Weise gepreßt und gebrannt. Die seitlichen Anschlüsse 31, 32 werden durch Aufbringen von Einbrennsilber hergestellt. Das Einbrennsilber ist in den Fig. 5 und 6 durch die Bezugszeichen 55 bzw. 65 gekennzeichnet.

Nach dem Kontaktieren werden die Wandler beschliffen bzw. abgedreht und in bekannter Weise im Schutzgas polarisiert.

#### Patentansprüche

1. Ultraschallwandler mit folgenden Merkmalen:
  - a) es sind mehrere Schichten (1) einer porösen Piezokeramik jeweils alternierend mit Elektroden (2) übereinander angeordnet,
  - b) es sind zwei Anschlüsse (31, 32) vorgesehen, mit denen jeweils jede zweite nacheinander angeordnete Elektrode (2) verbunden ist.
2. Ultraschallwandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse Piezokeramik innerhalb jeder Schicht (1) bezüglich der Porosität einen Gradienten aufweist und daß an den Grenzflächen zu den benachbarten Elektroden (2) die Porosität ein Minimum aufweist.
3. Ultraschallwandler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die poröse Piezokeramik im wesentlichen die Elemente Pb, Ti, Zr, Ni, Nb, O enthält.
4. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (2) mindestens eines der Elemente Ag, Pd und Pt enthalten.
5. Herstellverfahren für einen Ultraschallwandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Schichten (1) einer porösen Piezokeramik jeweils alternierend mit Elektroden (2) übereinandergeschichtet werden und daß die Schichten (1) poröser Piezokeramik jeweils aus mindestens einer Rohfolie (11, 12, 51, 61) erzeugt werden, die durch Ziehen einer Kunststoffolie durch ein Vorratsgefäß, das einen mit einem Perlpolymerisat gemischten Keramikschlicker enthält, hergestellt wird.
6. Herstellverfahren nach Anspruch 5 dadurch gekennzeichnet, daß das Perlpolymerisat eine möglichst schmale Verteilung der Perlgröße um eine zentrale Perlgröße im Bereich von 20 bis 30 µm aufweist.
7. Herstellverfahren nach Anspruch 5 oder 6, da-

durch gekennzeichnet, daß durch Einstellung der Viskosität des Keramikschlickers ein über den Querschnitt der Rohfolie (11, 12, 51, 61) veränderlicher Gehalt des Perlpolymerisats bewirkt wird.

8. Herstellverfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen zwei Elektroden (2) jeweils zwei Rohfolien (11, 12) so angeordnet werden, daß die Rohfolien (11, 12) an den Grenzflächen zu den Elektroden (2) einen geringeren Gehalt an Perlpolymerisat aufweisen als an ihrer gemeinsamen Grenzfläche. 10

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

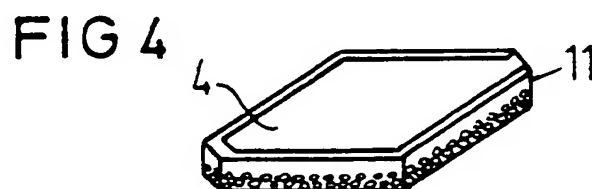
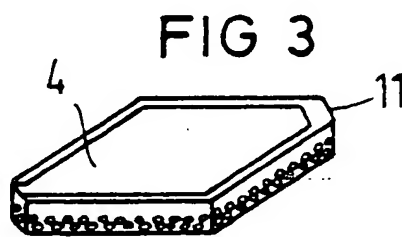
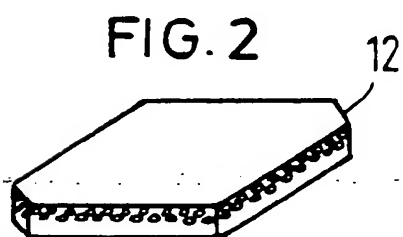
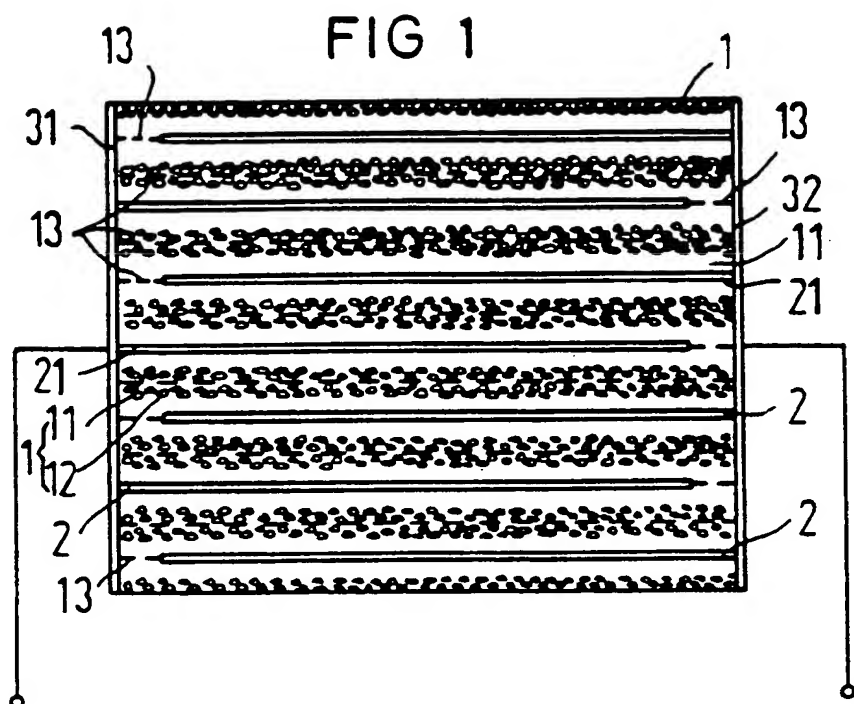


FIG 5

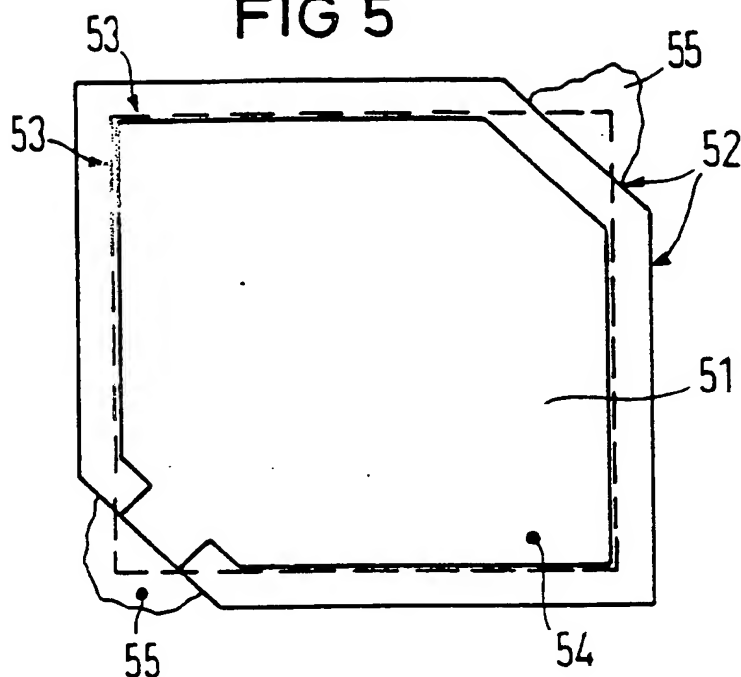
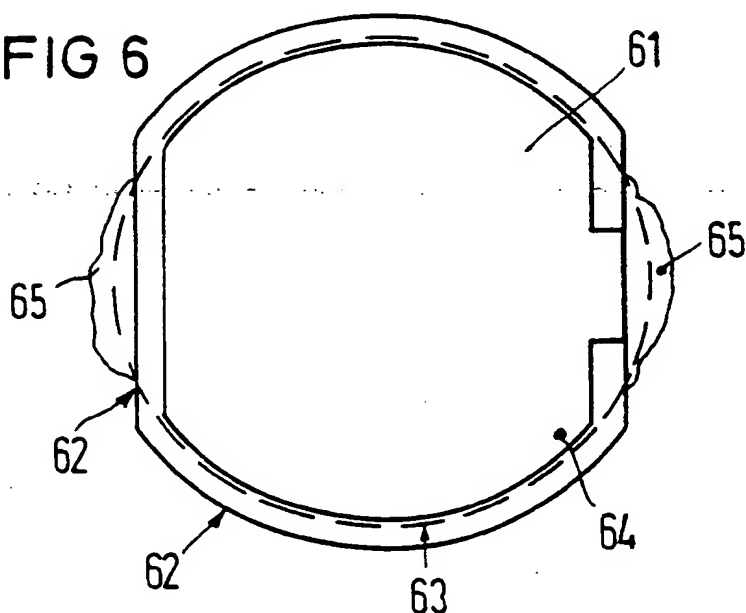


FIG 6



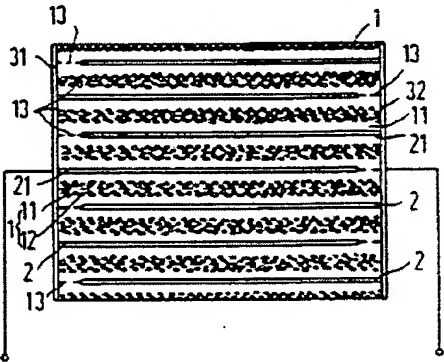
Laminated ultrasonic transducer - with porous piezo-ceramic and electrodes, giving good electrical and acoustic match and high coupling factor

**Patent number:** DE4029972  
**Publication date:** 1992-03-26  
**Inventor:** WERSING WOLFRAM DIPL PHYS (DE); MOHAUPT JUTTA (DE); LUBITZ KARL DIPL PHYS DR (DE)  
**Applicant:** SIEMENS AG (DE)  
**Classification:**  
- **international:** H01L41/22; H04R17/00  
- **european:** H01L41/083; H01L41/24  
**Application number:** DE19904029972 19900921  
**Priority number(s):** DE19904029972 19900921

Report a data error here

Abstract of DE4029972

Ultrasonic transducer has several layers (1) of porous piezo-ceramic (I), alternating with electrodes (II) (2). Alternate (II) are connected in turn to one of 2 terminals (31,32). Pref. each (I) layer has a porosity gradient, with min. porosity at the interface with the adjacent (II). (I) is based on Pb, Ti, Zr, Ni, Nb and O, whilst (II) contain Ag, Pd and/or Pt. **ADVANTAGE** - The transducer ensures a good electrical match in addn. to a good acoustic match and high coupling factor. Lamination reduces the electrical impedance at the same permittivity, e.g. by a factor of 16 with 4 layers. This more than counterbalances the redn. in permittivity with increasing porosity, allowing the thickness to be reduced to about a third the normal value, e.g. from ca. 3 mm to 1 mm for a lambda/4 transducer. (6pp Dwg.No.1/4)



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images  
problems checked, please do not report the  
problems to the IFW Image Problem Mailbox**